

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(A n'utiliser que pour
le classement et les
commandes de reproduction).

2.207.278

(21) N° d'enregistrement national
(A utiliser pour les paiements d'annuités,
les demandes de copies officielles et toutes
autres correspondances avec l'I.N.P.I.)

72.41218

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

1^{re} PUBLICATION

(22) Date de dépôt 20 novembre 1972, à 10 h 50 mn.

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — «Listès» n. 24 du 14-6-1974.

(51) Classification internationale (Int. Cl.) G 01 r 27/00/G 01 v 3/00.

(71) Déposant : INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE, DES CARBURANTS ET LUBRIFIANTS,
1 et 4, avenue de Bois-Préau, 92502 Rueil-Malmaison.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire :

(54) Méthode et dispositifs de mesure de la résistivité électrique des terrains entourant un
tubage métallique placé dans un sondage.

(72) Invention de : Robert Desbrandes et Paul Mangez.

(33) (32) (31) Priorité conventionnelle :

2207278

La présente invention décrit une méthode et des dispositifs de mesure de la résistivité électrique des terrains entourant un tubage métallique placé dans un sondage.

5 On ne dispose pas actuellement de moyens pour effectuer une telle mesure dont l'utilité serait pourtant incontestable, même avec une précision n'atteignant pas celle que l'on obtient lors de mesures effectuées dans un puits non tubé ou comportant un tubage en matière plastique constituant un isolant électrique.

10 Une telle mesure permettrait, en effet, d'identifier la nature des fluides imprégnant des formations géologiques poreuses, particulièrement quand ces formations contiennent de l'eau douce qui est difficilement détectable par les méthodes modernes telles que celles basées sur la mesure d'un temps de relaxation neutronique ou sur une mesure du nombre de neutrons capturés par le chlore, c'est-à-dire dans les deux cas de la mesure de la teneur de la formation en noyaux de chlore, donc en chlorure de sodium.

15 L'invention permet d'atteindre cet objectif en fournissant une méthode et des dispositifs de mesure de la résistivité électrique des terrains entourant un tubage métallique placé dans un sondage, des exemples non limitatifs de réalisation de cette méthode et de ces dispositifs étant illustrés par les figures annexées où :

- 20 - la figure 1 illustre schématiquement un premier type de sonde comportant un couple d'électrodes émettrices et deux couples d'électrodes de mesure, utilisable pour la mise en oeuvre de l'invention,
- 25 - la figure 1A illustre une variante dans laquelle la sonde comporte un seul couple d'électrodes de mesure et deux couples d'électrodes d'émission,
- la figure 2 représente un circuit utilisable en combinaison avec l'une ou l'autre de ces sondes pour déterminer in situ la résistance électrique R_c du tubage d'acier du puits, au niveau de la sonde,
- la figure 3 illustre un circuit permettant de déterminer l'épaisseur moyenne e_m du tubage au niveau de la sonde, à partir de la mesure de R_c ,
- 30 - la figure 4 montre un circuit utilisable en combinaison avec l'une ou l'autre des sondes illustrées par les figures 1 et 1A pour déterminer un coefficient α traduisant la déperdition d'un courant électrique dans le terrain au niveau de la sonde,

- la figure 5 illustre schématiquement un autre type de sonde utilisable pour la mise en oeuvre de l'invention,
- la figure 6 représente un circuit utilisable en combinaison avec ce dernier type de sonde pour déterminer la résistance R_c du tubage au niveau de la sonde,
- la figure 7 montre un circuit utilisable en combinaison avec la sonde illustrée sur la figure 5 pour déterminer le coefficient α ,
- la figure 8 illustre un ensemble de circuits permettant, à partir des valeurs de R_c et α , de déterminer la résistivité électrique R_t du terrain entourant le tubage au niveau de la sonde.

La figure 1 illustre schématiquement, à titre d'exemple, un type de sonde utilisable pour mesurer in situ, dans un puits tubé, la résistance électrique moyenne R_c du tubage d'acier par unité de longueur au niveau de la sonde et le coefficient α traduisant la dissipation par le terrain d'un courant électrique circulant le long d'un tubage, en fonction de la distance z au point d'émission mesurée parallèlement à l'axe du puits (l'intensité dans le tubage variant suivant une loi de la forme $I_z = I_e e^{-\alpha z}$), d'où l'on déduit la résistivité électrique R_t du terrain derrière le tubage au niveau de la sonde, connaissant celle du tubage au même niveau.

Cette loi rigoureuse pour un tubage infiniment long vers le haut et vers le bas donne une valeur approchée de I_z dans le cas où le tubage est de longueur limitée. La formule est d'autant plus précise que l'on est plus éloigné des extrémités, mais même au voisinage de celles-ci (quelques mètres) les erreurs ne dépassent pas quelques %.

Cette sonde désignée par la référence 3 comprend deux électrodes A et B espacées verticalement l'une de l'autre, entre lesquelles on peut faire circuler le courant électrique le long du tubage C. Ces électrodes pourront être appliquées par tout moyen connu contre le tubage C, toutefois si le puits est rempli d'un fluide conducteur de l'électricité, tel qu'une boue de forage conductrice ou de l'eau salée, le contact effectif entre les électrodes et le tubage C ne sera pas nécessaire. Deux couples d'électrodes de mesure M,N et K,L sont disposés entre les électrodes A et B, à des distances moyennes d et $2d$ de l'électrode A respectivement.

L'électrode A est reliée électriquement à l'une des bornes (borne 1) du générateur E et un commutateur J permet de connecter la seconde borne (borne 2) de ce générateur soit à l'électrode B de la sonde soit à une électrode B' couplée avec le sol et située en surface à grande distance du puits (quelques centaines de mètres, par exemple).

Dans une première étape de mesure, on fait circuler un courant électrique d'intensité I_0 entre les électrodes A et B et on mesure par l'intermédiaire du câble 4, après préamplification en P, la différence de potentiel V_c apparaissant entre les électrodes M et L distantes d'une longueur b .

- 5 Si R_c est la résistance électrique moyenne du tubage C par unité de longueur, dans l'intervalle séparant les électrodes M et L, on a

$$V_c = b R_c I_0 \quad (1)$$

En effet, la conductance du terrain qui est en parallèle avec le tubage C est absolument négligeable par rapport à celle du tubage.

- 10 Cette relation permet de déterminer la résistance linéaire moyenne R_c du tubage.

Dans un tubage de 18 cm de diamètre et d'épaisseur moyenne 1 cm, R_c est de l'ordre de $45 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{m}$ linéaire.

- 15 Si la distance b entre les électrodes de mesure M et L est d'un mètre et que l'intensité I_0 du courant alternatif produit par E est d'un Ampère (ce qui peut se faire avec un générateur E de faible puissance puisque l'impédance du tubage et celle des électrodes est faible), on détecte un signal V_c de 45 microvolts. Un tel signal peut être aisément mesuré avec les appareils de détection dont on dispose actuellement.

- 20 Le dispositif illustré par la figure 2 comporte à cet effet un circuit multiplicateur 5 qui reçoit un signal représentatif de la valeur I_0 de l'intensité du courant électrique et délivre un signal représentatif du produit bI_0 . Ce signal est appliqué à un circuit diviseur 6 qui reçoit par ailleurs un signal représentatif de la différence de potentiel V_c mesurée et fournit un signal
- 25 gnal représentatif de la valeur de

$$\frac{V_c}{bI_0}$$

c'est-à-dire de la résistance moyenne R_c du tubage C par unité de longueur, entre les électrodes M et L de la sonde.

- 30 A partir de cette valeur de R_c on peut, si on le désire, évaluer l'épaisseur moyenne du tubage C entre les électrodes M et L (cette épaisseur est fonction du degré de corrosion du tubage), puisque la valeur de la résistance R_c est pratiquement celle de la partie non corrodée du tubage (la conductance de la couche oxydée étant négligeable par rapport à celle de l'acier).

Un circuit multiplicateur 8 (figure 3) recevant le signal R_c sortant

du circuit 6 de la figure 2 et un signal représentatif du produit $2 \pi r_m$ fourni par un circuit 7 (r_m est le rayon moyen du tubage C) délivre un signal représentatif du produit $2 \pi r_m R_c$. Ce signal est appliqué à un circuit diviseur 9 qui reçoit par ailleurs un signal b représentatif de la résistivité de l'acier constituant le tubage (exprimée par exemple en Ohms.m²/m, e_m et r_m étant alors exprimés en mètres et R_c en Ohm/m).

Le circuit diviseur fournit alors un signal représentatif de l'épaisseur moyenne du tubage C au droit de la sonde.

Dans une seconde étape de mesure, on fait circuler un courant électrique entre l'électrode A et l'électrode B' en surface, en manoeuvrant le commutateur J, en supposant, ce qui n'est nullement obligatoire, que le générateur E délivre toujours la même intensité de courant I_0 .

Une fraction I_1 de l'intensité I_0 du courant électrique injecté par l'électrode A remonte le long du tubage C pour atteindre le point B', tandis que la fraction complémentaire I_2 descend le long du tubage en se dissipant dans le sol. Si l'on fait l'approximation selon laquelle le tubage C a une longueur infinie par rapport aux distances $z = d$ et $z = 2d$, l'intensité du courant électrique descendant le long du tubage est à la distance d de l'électrode d'émission A :

$$I_d = I_2 e^{-\alpha d} = \frac{V_d}{h R_c}$$

$$\text{et à la distance } 2d \text{ de l'électrode A : } I_{2d} = I_2 e^{-\alpha 2d} = \frac{V_{2d}}{h R_c}$$

V_d et V_{2d} étant les différences de potentiel mesurées entre les électrodes M-N et K-L respectivement, ayant même écartement h .

$$\text{On en déduit } \frac{V_d}{V_{2d}} = e^{-\alpha d} \quad (2)$$

Selon une variante de construction, représentée par la figure 1A, on utilise une sonde ne comportant qu'un seul couple d'électrodes de mesure, le couple KL, situé à la distance moyenne $2d$ de l'électrode A, et on dispose d'une seconde électrode de courant A', située à la distance moyenne d du couple KL. On effectue alors successivement l'émission d'un courant de même intensité entre les électrodes A et B', puis entre les électrodes A' et B' (en agissant sur le commutateur H) et l'on mesure les différences de potentiel correspondantes V_{2d} et V_d apparaissant entre les électrodes K et L, ces différences de potentiel étant également liées par la relation (2).

Les différences de potentiel V_d et V_{2d} obtenues avec la sonde de la figure 1 ou celle de la figure 1A sont introduites dans le circuit diviseur 10

(figure 4) qui délivre un signal représentatif du rapport $\frac{V_d}{V_{2d}}$. Ce signal est appliqué au circuit 11 qui produit un signal représentatif de la valeur du logarithme népérien de $\frac{V_d}{V_{2d}}$, lequel est appliqué au circuit diviseur 12 qui délivre un signal représentatif de $\frac{1}{d} \text{Log} \frac{V_d}{V_{2d}}$, c'est-à-dire de la valeur du coefficient α , conformément à la relation (2) ci-dessus.

La figure 5 illustre schématiquement un autre type de sonde utilisable pour la détermination des paramètres E_c et α . Cette sonde comporte une électrode A_0 d'émission de courant dans le tubage C, reliée à la borne 1 du générateur E.

La borne 2 de ce générateur peut être, par la manoeuvre du commutateur J, reliée à volonté soit à l'électrode B_0 de la sonde espacée verticalement de l'électrode A_0 et située au-dessus de celle-ci, soit à l'électrode B' couplée avec le sol à une certaine distance du puits.

Entre les électrodes A_0 et B_0 sont disposées trois électrodes de mesure K' , N' , M' , régulièrement espacées, "a" désignant leur écartement. Un premier transformateur est constitué par un enroulement primaire p dont les extrémités peuvent être simultanément connectées aux électrodes K' et M' en agissant sur des moyens de commutation. L'enroulement secondaire de ce transformateur a été désigné par la référence s.

Les électrodes K' et N' et les électrodes N' et M' sont également connectées par des bobinages qui constituent un premier enroulement primaire P' d'un second transformateur dont l'enroulement secondaire S a été représenté à l'extérieur de la sonde pour la clarté du dessin. Les bobinages reliant les électrodes M' et N' et K' et N' ont des sens d'enroulement opposés.

Un second ensemble d'électrodes de mesure K'' , N'' , M'' , reliées par des bobinages, semblable à l'ensemble K' , N' , M' , est disposé sous le point A_0 . L'ensemble des bobinages reliant les électrodes K'' , N'' , M'' constitue un second enroulement primaire P'' du second transformateur. Les bobinages reliant les électrodes M'' et N'' et K'' et N'' ont des sens d'enroulement opposés.

Dans une première étape de mesure, on connecte les électrodes K' et M' au bobinage p et on fait passer le courant électrique d'intensité I_0 le long du tubage C entre les électrodes A_0 et B_0 .

Le signal V'_c apparaissant aux bornes de l'enroulement secondaire s du premier transformateur est proportionnel à $|V_{M'} - V_{K'}|$.

On peut donc écrire que l'on a, si le rapport des nombres de tours des enroulements primaire et secondaire du transformateur est 1,

$$V'_c = 2a R_c I_0 \quad (3)$$

Le dispositif de la figure 6, analogue à celui de la figure 2, comporte un circuit diviseur 14 auquel est appliqué la différence de potentiel V'_c et qui reçoit par ailleurs un signal représentatif du produit $2aI_0$, fourni par le circuit multiplicateur 13.

Dans ces conditions, le circuit diviseur 14 fournit un signal représentatif de la valeur de $\frac{V'_c}{2aI_0}$, c'est-à-dire de la résistance moyenne R_c du tubage C par unité de longueur.

Dans une seconde étape de mesure, on connecte les électrodes K' et M' au bobinage P et on fait circuler un courant électrique entre l'électrode A_0 et l'électrode B' en surface, en manoeuvrant le commutateur J.

L'intensité I_0 injectée se partage en deux fractions I_1 et I_2 , telles que $I_0 = I_1 + I_2$, dont l'une remonte et l'autre descend le long du tubage. Ces courants induisent en un point situé à la distance z de A_0 à la verticale de ce dernier, un champ électrique E_z tel que

$$E'_z = R_c I_1 e^{-\alpha z}$$

$$\text{ou } E''_z = R_c I_2 e^{-\alpha z}$$

suivant que le point considéré se trouve au-dessus ou au-dessous de l'électrode d'émission A_0 (α a la signification déjà indiquée ci-dessus).

On a sensiblement (en considérant que $e^{-\alpha z}$ a une valeur voisine de 1)

$$\frac{\delta E'_z}{\delta z} = -R_c I_1 \alpha \quad \text{et} \quad \frac{\delta E''_z}{\delta z} = -R_c I_2 \alpha$$

car la valeur du produit αz peut être considérée comme négligeable par rapport à 1.

On a en particulier au point N'

$$\left| \left(\frac{\delta E'_z}{\delta z} \right)_{N'} \right| = \frac{|(V_{M'} - V_{N'}) - (V_{N'} - V_{K'})|}{a^2} = +R_c I_1 \alpha$$

et au point N'' $\left| \left(\frac{\delta E''}{\delta z} \right)_{N''} \right| = \frac{|(V_{M''} - V_{N''}) - (V_{N''} - V_{K''})|}{a^2} = +R_c I_2 a$

Par suite la valeur de la différence de potentiel V apparaissant aux bornes de l'enroulement secondaire S du second transformateur, si le rapport des nombres de tours des enroulements primaire et secondaire du transformateur est égal à 1, est donnée par

$$V = |(V_{M'} - V_{N'}) - (V_{N'} - V_{K'})| + |(V_{M''} - V_{N''}) - (V_{N''} - V_{K''})| = +[R_c I_1 a + R_c I_2 a] a^2$$

soit $V = +a^2 R_c (I_1 + I_2) = +a^2 R_c I_0 a$ (5)

Le signal V est appliqué (figure 7) à un circuit diviseur 16 qui reçoit par ailleurs un signal représentatif de la valeur du produit $a^2 R_c I_0$, fourni par le circuit multiplicateur 15. Le circuit diviseur 16 délivre un signal représentatif de la valeur du paramètre $\alpha = \frac{V}{a^2 R_c I_0}$

La figure 8 illustre un ensemble de circuits utilisables pour obtenir la valeur de la résistivité électrique R_t du terrain entourant le tubage C au niveau de la sonde à partir des valeurs de R_c et α fournies par les circuits précédents.

Dans le système d'unités MKSA où R_c s'exprime en $\frac{\text{Ohms} \cdot \pi \cdot \text{m}^2}{a}$ on a sensiblement

$$R_t = \frac{256}{\mu_t} r^2 \mu_c R_c \left(\alpha - \sqrt{\frac{\mu_c \omega}{2R_c}} \right)^2$$

où r est le rayon externe du tubage, exprimé en mètres.

μ_c et μ_t représentent respectivement la valeur de la perméabilité magnétique du tubage C et du terrain.

$\omega = 2 \pi f$ où f est la fréquence du courant électrique d'intensité I_0 injecté dans le sol à travers le tubage.

A titre d'ordre de grandeur on peut indiquer les valeurs suivantes (unités MKSA)

$$\mu_t = 4 \pi 10^{-7} \quad \mu_c = \mu_r \times 4 \pi 10^{-7}$$

avec μ_r = de 100 à 1000 suivant le type d'acier constituant le tubage C .

Un circuit multiplicateur 17 produit un signal représentatif de la pulsation $\omega = 2 \pi f$ du courant électrique produit par le générateur E.

Ce signal est appliqué à un circuit multiplicateur 18 qui reçoit par ailleurs un signal représentatif de la valeur de la perméabilité magnétique μ_c du casing et délivre un signal représentatif de la valeur du produit $\mu_c \omega$.

Ce signal est transmis à un circuit diviseur 19 qui reçoit également un signal représentatif de la valeur de $2R_c$, fourni par le circuit multiplicateur 20.

Le signal, représentatif de $\frac{\mu_c \omega}{2 R_c}$, produit par le circuit 19 est appliqué au circuit 21 extracteur de racine carrée qui délivre un signal représentatif de la valeur de $\sqrt{\frac{\mu_c \omega}{2 R_c}}$.

Ce signal est transmis au circuit 22 inverseur de polarité qui produit un signal représentatif de $-\sqrt{\frac{\mu_c \omega}{2 R_c}}$ appliqué au circuit additionneur 23 qui reçoit également un signal représentatif de α , fourni par le circuit de la figure 4 ou celui de la figure 6.

Le signal issu du circuit 23, qui est représentatif de la valeur de $\alpha - \sqrt{\frac{\mu_c \omega}{2 R_c}}$, est appliqué au circuit 24 d'élévation au carré, qui délivre un signal représentatif de $\left(\alpha - \sqrt{\frac{\mu_c \omega}{2 R_c}}\right)^2$.

La borne de sortie du circuit 24 est connectée au circuit multiplicateur 25 qui reçoit également un signal représentatif de la valeur de R_c précédemment déterminée. Le circuit 25 délivre un signal représentatif de la valeur de $R_c \left(\alpha - \sqrt{\frac{\mu_c \omega}{2 R_c}}\right)^2$ qui est appliqué au circuit multiplicateur 26, lequel reçoit par ailleurs un signal représentatif de la valeur de la perméabilité magnétique μ_c du tubage C.

Le signal sortant du circuit 26 est appliqué au circuit multiplicateur 27 en même temps qu'un signal représentatif de la valeur r^2 du carré du rayon du tubage; ce dernier signal étant délivré par le circuit d'élévation au carré 28.

Le circuit 27 produit ainsi un signal représentatif de la valeur de $r^2 \mu_c R_c \left(a - \sqrt{\frac{\mu_c \omega}{2R_c}} \right)^2$ qui est multiplié par le coefficient numérique 256 dans le circuit 29.

Le signal représentatif de la valeur de $256 r^2 \mu_c R_c \left(a - \sqrt{\frac{\mu_c \omega}{2R_c}} \right)^2$ est enfin appliqué au circuit 30 qui reçoit également un signal représentatif de la valeur de la perméabilité magnétique μ_t du terrain.

Le circuit 30 délivre un signal représentatif de la valeur de $\frac{256}{\mu_t} r^2 \mu_c R_c \left(a - \sqrt{\frac{\mu_c \omega}{2R_c}} \right)^2$ c'est-à-dire de la valeur recherchée de la résistivité R_t du terrain entourant le tubage, au niveau de la sonde.

Ce signal résultant peut être visualisé et éventuellement enregistré, en utilisant des dispositifs connus.

REVENDICATIONS

1. - Méthode de mesure de la résistivité électrique des terrains entourant un tubage métallique placé dans un sondage, caractérisée par la combinaison des étapes successives suivantes :

5 a) on fait passer un courant électrique entre deux électrodes d'émission espacées verticalement et couplées électriquement avec le tubage, on effectue une première mesure portant sur une grandeur fonction de la différence de potentiel produite par ce courant entre deux électrodes de mesure espacées verticalement l'une de l'autre, placées entre les deux électrodes d'émission et couplées électriquement avec le tubage, et on déduit de cette première mesure la valeur de la résistivité électrique moyenne R_c du tubage entre les deux électrodes de mesure,

15 b) on fait passer un courant électrique alternatif dans le sol entre une électrode d'émission couplée électriquement avec le tubage et une électrode d'émission couplée avec le sol à une certaine distance du sondage, on effectue, en utilisant au moins un couple d'électrodes de mesure espacées verticalement dans le sondage et couplées électriquement avec le tubage, au moins une seconde mesure portant sur une grandeur fonction de la différence de potentiel apparaissant entre les électrodes dudit couple pendant le passage de ce courant, et on déduit de cette seconde mesure la valeur du coefficient α

20 tel que $I_z = I e^{-\alpha z}$

I et I_z étant les valeurs de l'intensité de courant électrique dans le tubage en un premier et un second points de celui-ci respectivement, situés d'un même côté de ladite électrode d'émission couplée électriquement avec le tubage et espacés de la distance verticale z , l'édit second point étant plus éloigné de cette électrode que l'édit premier point,

25 c) on déduit, des valeurs de R_c et α déterminées dans les étapes précédentes, la valeur moyenne R_t de la résistivité électrique du terrain entourant le tubage, entre les niveaux des électrodes dudit couple, satisfaisant à la relation

30
$$R_t = \frac{k}{\mu_t} r^2 \mu_c R_c \left(\alpha - \sqrt{\frac{\mu_c \omega}{2R_c}} \right)^2$$

où k est un coefficient,

μ_c et μ_t sont les valeurs respectives de la perméabilité magnétique du tubage et du terrain,

r est le rayon externe du tubage,

$\omega = 2\pi f$ (f étant la fréquence dudit courant électrique alternatif).

2. - Méthode de mesure de la résistivité électrique des terrains entourant un tubage métallique placé dans un sondage, caractérisée par la combinaison des étapes successives suivantes :

a) on fait passer un courant électrique entre deux électrodes d'émission espacées verticalement et couplées électriquement avec le tubage, on produit un premier signal de mesure représentatif d'une grandeur fonction de la différence de potentiel produite par ce courant entre deux électrodes de mesure espacées verticalement l'une de l'autre, placées entre les deux électrodes d'émission et couplées électriquement avec le tubage, et on produit, à partir dudit premier signal de mesure, un signal représentatif de la valeur de la résistivité électrique moyenne R_c du tubage entre les deux électrodes de mesure,

b) on fait passer un courant électrique alternatif dans le sol entre une électrode d'émission couplée électriquement avec le tubage et une électrode d'émission couplée avec le sol à une certaine distance du sondage, on produit, en utilisant au moins un couple d'électrodes de mesure espacées verticalement dans le sondage et couplées électriquement avec le tubage, au moins un second signal de mesure représentatif d'une grandeur fonction de la différence de potentiel apparaissant entre les électrodes dudit couple pendant le passage de ce courant, et on produit, à partir dudit second signal de mesure, un signal représentatif de la valeur du coefficient α tel que

$$I_z = I e^{-\alpha z}$$

I et I_z étant les valeurs de l'intensité de courant électrique dans le tubage en un premier et un second points de celui-ci respectivement, situés d'un même côté de ladite électrode d'émission couplée électriquement avec le tubage et espacés de la distance verticale z , ledit second point étant plus éloigné de cette électrode que ledit premier point,

c) on produit, à partir des deux signaux de mesure obtenus dans les étapes précédentes, un signal représentatif de la valeur moyenne R_t de la résistivité électrique du terrain entourant le tubage, entre les niveaux des électrodes dudit couple, la valeur de ce dernier signal satisfaisant à la relation

$$R_t = \frac{k}{\mu_t} r^2 \mu_c R_c \left(\alpha - \sqrt{\frac{\mu_c \omega}{2R_c}} \right)^2$$

où k est un coefficient,

μ_c et μ_t sont les valeurs respectives de la perméabilité magnétique du tubage et du terrain,

r est le rayon externe du tubage,

$\omega = 2 \pi f$ (f étant la fréquence dudit courant électrique alternatif).

- 5 3. - Méthode selon la revendication 2, caractérisée en ce que l'on produit, à partir dudit signal représentatif de la valeur de R_c , un signal représentatif de la valeur de

$$e_m = \frac{P}{2 \pi r_m R_c}$$

- 10 où P est la résistivité du métal constituant le tubage, par unité de longueur de ce dernier et r_m le rayon moyen de ce tubage, ce signal constituant une mesure de l'épaisseur moyenne du tubage dans l'intervalle séparant lesdites électrodes de mesure.

- 15 4. - Dispositif de mesure de la résistivité électrique des terrains entourant un tubage métallique placé dans un sondage, caractérisé en ce qu'il comporte en combinaison :

- a) des moyens pour faire passer un courant électrique entre deux électrodes d'émission, espacées verticalement et couplées électriquement avec la tubage, des moyens produisant un premier signal de mesure représentatif d'une grandeur fonction de la différence de potentiel produite par ce courant entre
20 deux électrodes de mesure espacées verticalement l'une de l'autre, placées entre les deux électrodes d'émission et couplées électriquement avec le tubage, et des moyens produisant, à partir dudit premier signal de mesure, un signal représentatif de la valeur de la résistivité électrique moyenne R_c du tubage entre les deux électrodes de mesure,
- 25 b) des moyens pour faire passer un courant électrique alternatif dans le sol entre une électrode d'émission couplée électriquement avec le sol à une certaine distance du sondage, des moyens pour produire, en utilisant au moins un couple d'électrodes de mesure espacées verticalement dans le sondage et couplées électriquement avec le tubage, au moins un second signal de mesure
30 représentatif d'une grandeur fonction de la différence de potentiel apparaissant entre les électrodes dudit couple pendant le passage de ce courant, et des moyens connectés auxdits moyens qui produisent ledit second signal de mesure et délivrant un signal représentatif de la valeur du coefficient α tel que

35 $I_2 = I e^{-\alpha z}$

I et I_2 étant les valeurs de l'intensité de courant électrique dans le tu-

bage en un premier et un second points de celui-ci respectivement, situés d'un même côté de ladite électrode d'émission couplée électriquement avec le tubage et espacés de la distance verticale z , ledit second point étant plus éloigné de cette électrode que ledit premier point,

- 5 c) des moyens connectés auxdits moyens produisant ledit premier signal de mesure et auxdits moyens produisant ledit second signal de mesure et produisant un signal représentatif de la valeur moyenne R_t de la résistivité électrique du terrain entourant le tubage, entre les niveaux des électrodes dudit couple, la valeur de ce dernier signal satisfaisant à la relation

$$10 \quad R_t = \frac{k}{\mu_t} r^2 \mu_c R_c \left(\alpha - \sqrt{\frac{\mu_c \omega}{2R_c}} \right)^2$$

où k est un coefficient,

μ_c et μ_t sont les valeurs respectives de la perméabilité magnétique du tubage et du terrain,

r est le rayon externe du tubage,

- 15 $\omega = 2\pi f$ (f étant la fréquence dudit courant électrique alternatif).

5. - Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens reliés auxdits moyens produisant ledit signal représentatif de la valeur de R_c , ces moyens produisant un signal représentatif de la valeur de

$$e_m = \frac{P}{2\pi r_m R_c}$$

- 20 où P est la résistivité du métal constituant le tubage, par unité de longueur de ce dernier et r_m le rayon moyen de ce tubage, ce signal constituant une mesure de l'épaisseur moyenne du tubage dans l'intervalle séparant lesdites électrodes de mesure.

6. - Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un transformateur ayant au moins un enroulement primaire formé par un bobinage reliant deux desdites électrodes de mesure et au moins un enroulement secondaire entre les bornes duquel apparaît l'un desdits premier et second signaux de mesure.

7. - Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comporte deux couples d'électrodes de mesure ($K'N'$, $K''N''$) disposés symétriquement de part et d'autre d'une électrode d'émission couplée électriquement avec le tube, et en ce que les deux électrodes de chaque couple sont reliées par des bobinages faisant partie du circuit primaire d'un transformateur ayant un bobinage secondaire aux bornes duquel apparaît ledit second signal de mesure.

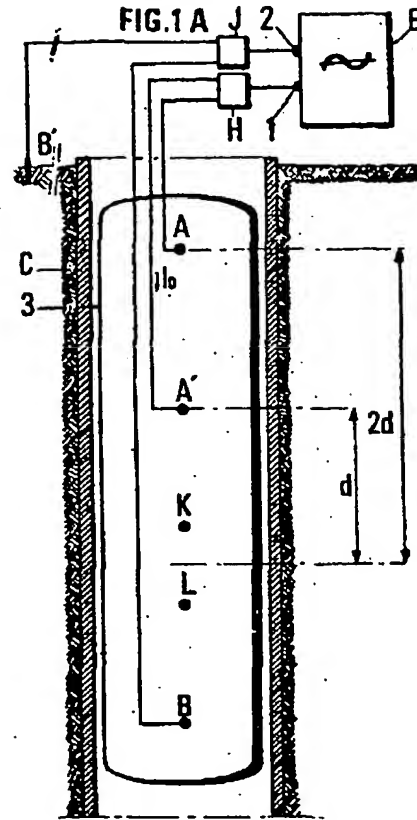
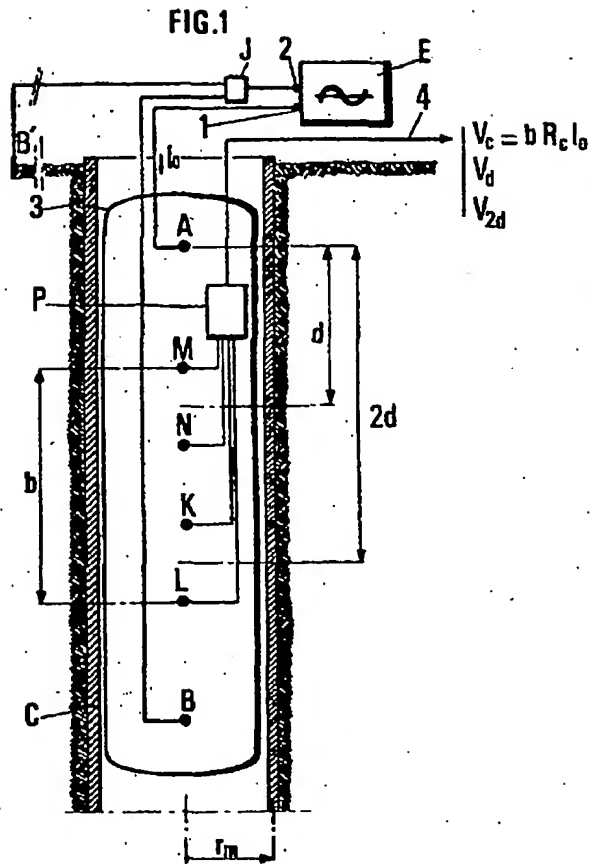


FIG.2

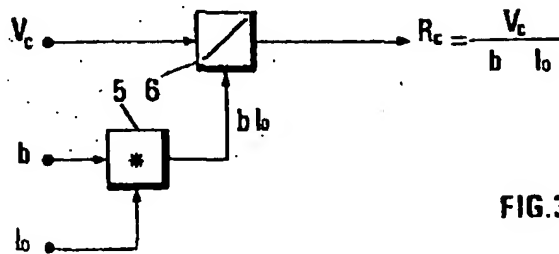


FIG.3

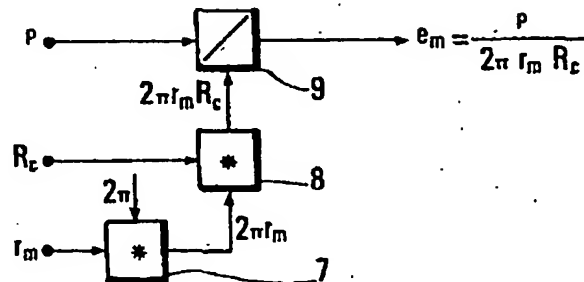


FIG. 4

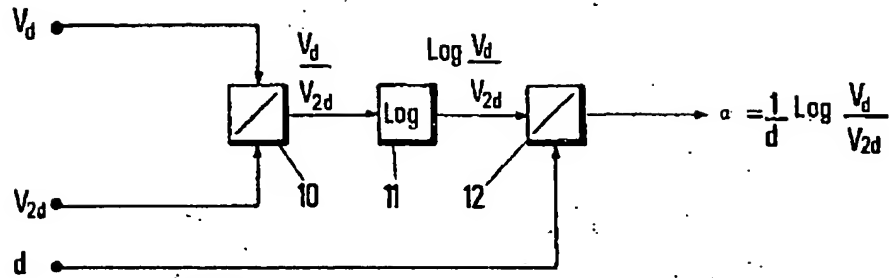


FIG. 5

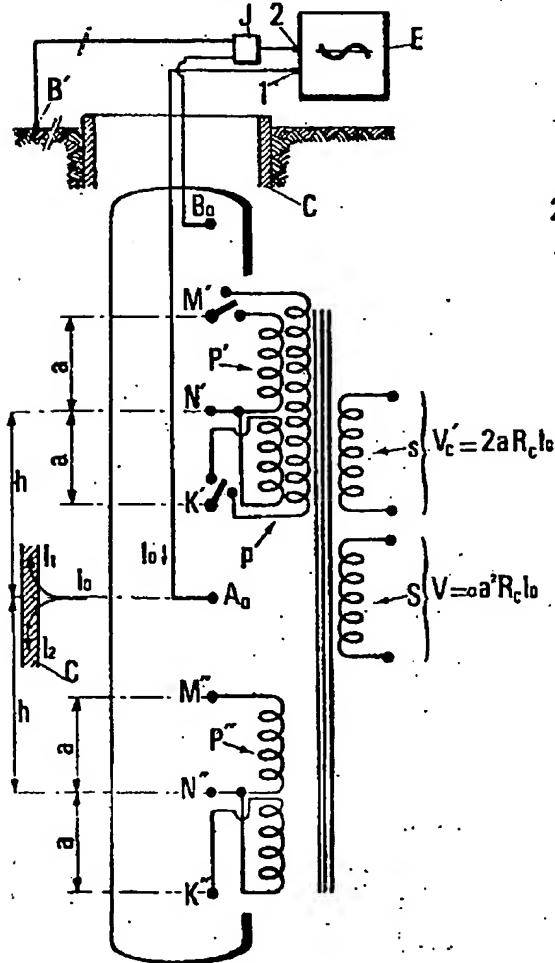


FIG. 6

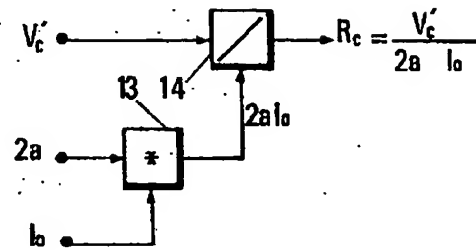


FIG. 7

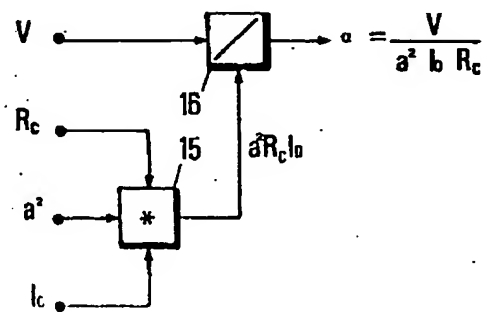
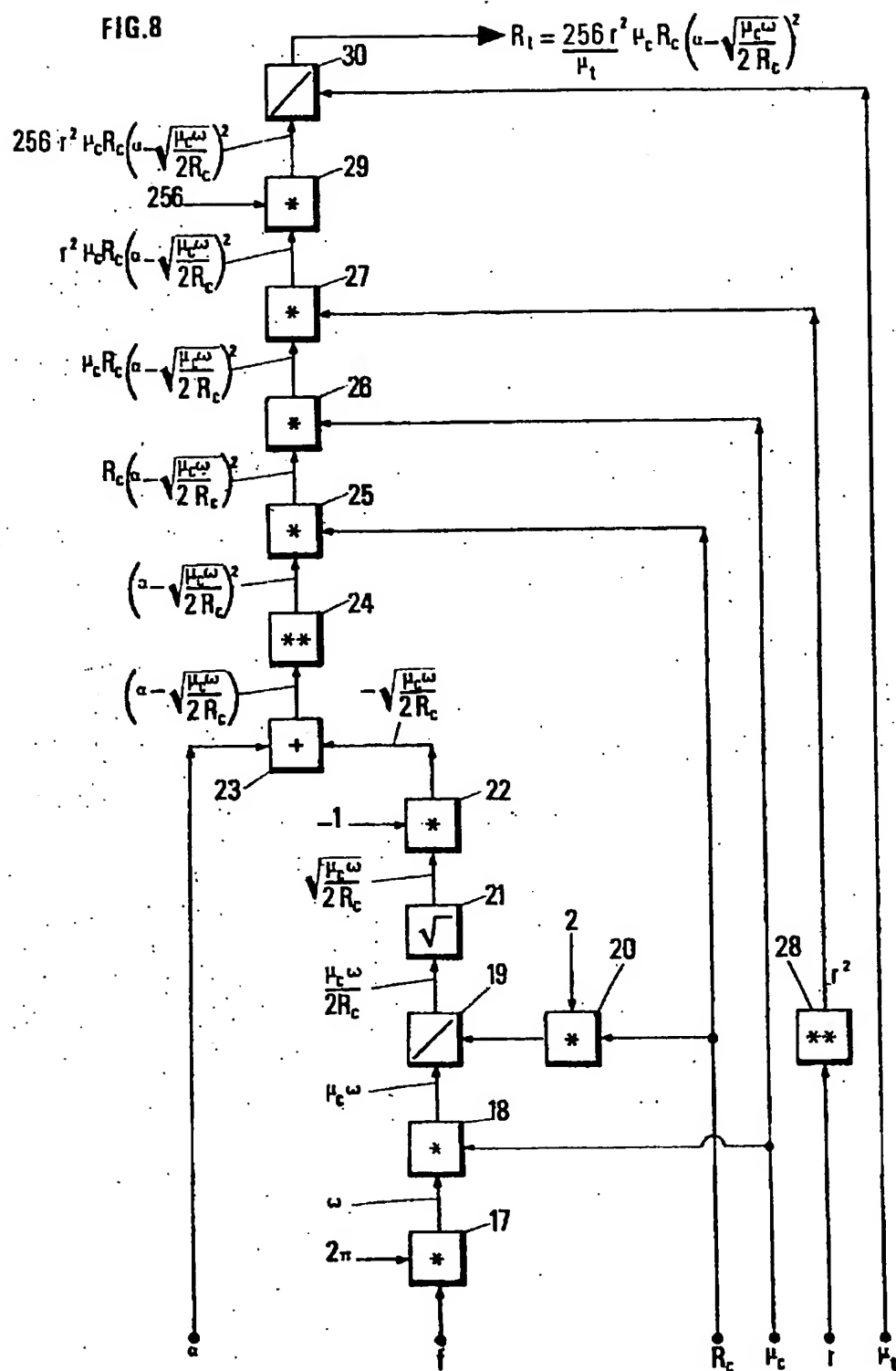


FIG.8



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.